

# Unfälle/Gefahren durch Leitungsunterbrechungen

**Nachfolgend wird betrachtet was passiert, wenn elektrische Leitungen durch Fehlhandlungen oder Überlastungen unterbrochen werden. Die Risiken solcher Fehler bei elektrischen Anlagen und Geräten sind enorm hoch. Sie können sehr schnell zu Unfällen und Schadensfällen und damit zu erheblichen juristischen Schwierigkeiten und Regressforderungen führen.**

## Isolationsfehler

Bei Geräten oder Anlagen der Schutzklasse I mit intaktem Schutzleiter (PE) aber defekter Isolation, bei denen der Fehlerschutz mit Hilfe von Überstromschutzorganen (also Sicherungen oder Automaten) erfolgt, ergibt sich die im Bild 1 dargestellte Situation. Über den rot dargestellten Weg (die sog. Fehlerschleife) fließt ein Fehlerstrom. Dieser muss die Schutz-einrichtung innerhalb von 400 ms zum Abschalten des fehlerbehafteten Endstromkreises bringen. Das ist dringend erforderlich. Denn, geht man von einem etwa gleichgroßen Widerstand der L- und PE- Leitungen aus, so ergibt sich ein symmetrischer Spannungsteiler und damit am Gehäuse eine Berührungsspannung von etwa 115 V. Der Strom über eine das Gehäuse berührende Person, die geerdet steht, wird dann etwa 115 mA betragen. Bei diesem Strom tritt der Tod nach etwa 500 ms ein. Das in DIN VDE 0100-410 geforderte Abschalten in  $\leq 400$  ms ist also verständlich und dringend notwendig. Wenn das Netz und die Überstromschutz-einrichtung richtig aufeinander abgestimmt sind (die Summe aller Widerstände in der rot dargestellten Fehlerschleife nennt man den Schleifenwiderstand – er sollte möglichst klein sein), dann funktioniert diese Maßnahme des Fehlerschutzes ja auch problemlos.

## Schutzleiter-Unterbrechung

Ganz anders ist die Situation, wenn der Schutzleiter (er ist ja Bestandteil der Fehlerschleife) einen erhöhten (bei Unterbrechung sogar unendlich großen) Widerstand hat. Nun ist der Spannungsteiler nicht mehr symmetrisch. Am Gehäuse liegen jetzt mehr als 115 V Berührungsspannung an (bei SL-Unterbrechung sogar volle 230 V). Es müsste nun viel schneller abgeschaltet werden, als in 400 ms – aber genau das Gegenteil passiert: Der vergrößerte Schutzleiterwiderstand führt leider nicht

nur zur Erhöhung der Berührungsspannung über die 115 V hinaus (das allein wäre schon schlimm genug!), sondern verhindert auch noch eine schnelle Abschaltung. Es kann kein ausreichender Fehlerstrom mehr fließen, um das Überstromschutzorgan in der geforderten Zeit zum Ansprechen zu bringen.

## Schutzleiterwiderstand

Hat der Prüfende diesen Zusammenhang verstanden, dann läuft er auch nicht mehr Gefahr, sich an die Grenzwerte der Normen zu klammern. Selbst bei Einhaltung des in DIN VDE 0701 und DIN VDE 0702 geforderten Maximalwerts von  $0,3 \Omega$  für den Schutzleiterwiderstand ortsveränderlicher Geräte ist ein Unfall bei Auftreten eines Isolationsfehlers nicht mit Sicherheit auszuschließen. Beim Prüfen des Schutzleiters ist es besser, sich den zu erwartenden Messwert des Schutzleiterwiderstands zu errechnen und mit dem in der Praxis erzielten Messwert zu vergleichen:

$$R \text{ in } \Omega = \frac{\text{Leitungslänge in m}}{56 \times \text{Querschnitt in mm}^2}$$

(der spezifische Leitwert von 56 gilt bei Cu, bei Al ist 35 und bei Fe 8,6 einzusetzen)

Ob bei einer Unterbrechung des PE eine eventuell eingebaute Fehlerstrom-Schutz-einrichtung (RCD) mit  $\leq 30$  mA Nennfehlerstrom den tödlichen Unfall noch verhindern kann, das hängt wesentlich von der Hautfeuchtigkeit und dem Standort der – das defekte Gerät berührenden – Person ab.

## PEN-Leiter-Unterbrechung

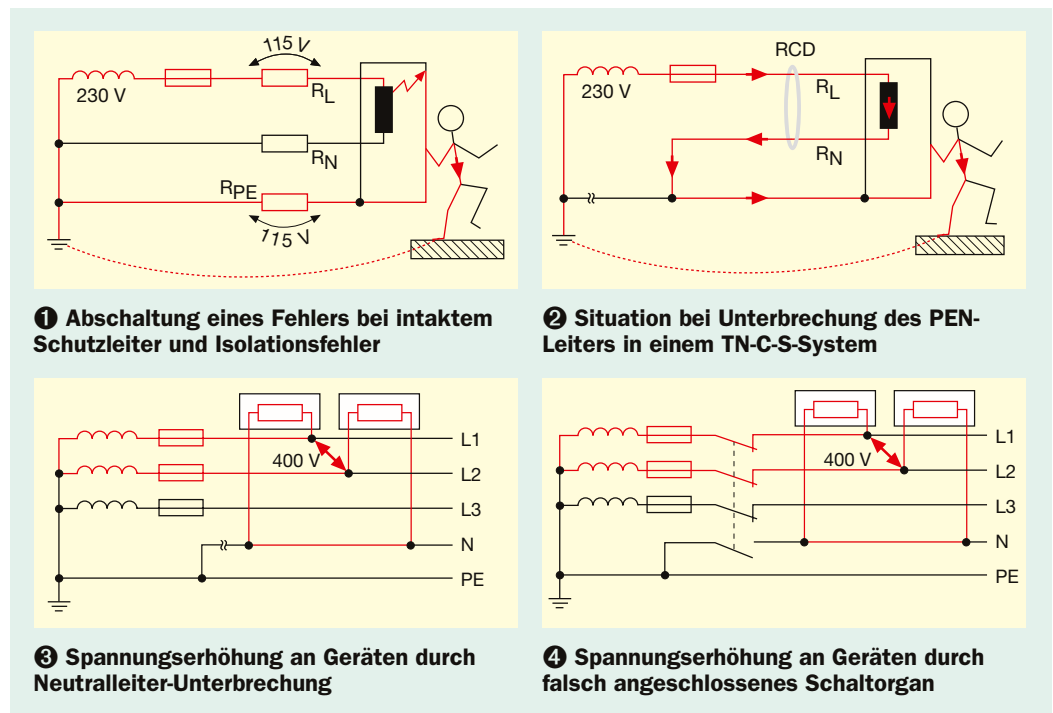
Das ist so ziemlich der schlimmste Fehler, der in einer Anlage passieren kann – sozusagen der elektrische Supergau. Über den im Bild 2 rot dargestellten Weg liegt bei unterbrochenem PEN-Leiter die Leiterspannung  $U_0$  von 230 V über das intakte Innenleben des Geräts am Gehäuse an und wird dort zur Berührungsspannung. Eine Abschaltung über die Sicherung (bzw. den Automaten) ist nicht möglich, weil dafür der Fehlerstrom zu klein ist. Auch ein (noch so empfindlicher) RCD kann den tödlichen Unfall nicht mehr verhindern. Das allerdings aus einem ganz anderen Grund: Der Strom, der die – das Gehäuse des Geräts berührende – Person dann durchströmt und (ganz beiläufig) umbringt, fließt zweimal entgegengesetzt durch den Differenztrafo der Schutz-einrichtung. Er hebt sich dadurch in seiner magnetischen Wirkung selbst wieder auf.

Es gibt keine Abschaltung dieses Fehlers – weder durch

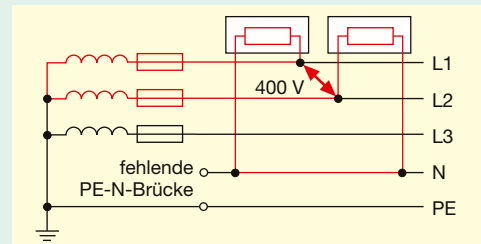
- Überstrom- noch durch
  - Fehlerstrom-Schutzorgane!
- Anmerkung: Es gibt RCDs, die auch bei diesem Fehlerbild abschalten können. Das sind Schutz-einrichtungen mit Schutzleiterstrom-Überwachung. Ihre Markt-akzeptanz ist – völlig zu Unrecht – heute noch nicht sehr groß.

## Neutralleiter-Unterbrechung

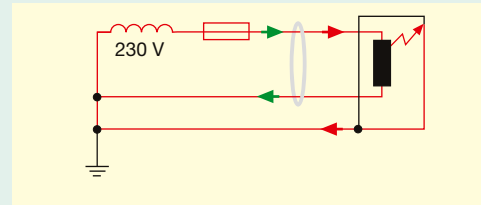
Das ist ein Fehler, der sehr, sehr teuer werden kann! Wir stellen uns zwei beliebige Geräte (zum Beispiel zwei Server in unterschiedlichen EDV-Abteilungen) vor. Der eine werde zwischen L1 und N, der andere zwischen L2 und N desselben Drehstromsystems betrieben. Bei einer Unterbrechung des N schalten sich die beiden Server in Reihe – an der Reihenschaltung liegt eine Spannung von 400 V an (Bild 3). Es ist immer so, dass das leistungsschwächere Gerät den höheren Innenwiderstand hat. Damit übernimmt es (nach der Spannteilerrregel) den Löwenanteil der 400-V-Spannung und schlägt durch. Nun ist es niederohmiger als das andere Gerät – herzlichen Glückwunsch!!! Durch N-Leiter-Unterbrechungen haben sich auf geheimnisvolle Art und Weise schon komplette Hallen-Beleuchtungen (hier findet aber zum Glück wenigstens kein Datenverlust statt) und ganze EDV-Abteilungen (hier findet ... au weia ...!) verabschiedet.







⑤ **Spannungssteigerung durch fehlende Brücke zwischen der PE- und N-Schiene**



⑦ **TN-S-System mit RCD – bei einem Isolationsfehler spricht der RCD an**

Eine N-Leiter-Unterbrechung kann der installierenden (reparierenden) Elektrofachkraft sehr schnell unterlaufen. Schließt sie zum Beispiel einen vierpoligen LS-Schalter oder RCD falsch an (ein Außenleiter auf den N-Kontakt und den N-Leiter auf einen Außenleiterkontakt), dann funktioniert das Schaltgerät zunächst und zeigt keine Auffälligkeiten. Es gibt nur eine Feinheit zu beachten: Der Kontakt des N-Leiters ist bei LS-Schaltern und RCDs anders aufgebaut, als die Außenleiterkontakte. Er ist so konstruiert, dass er voreilend schließt und nacheilend öffnet – eben um zu verhindern, dass eine (wenn auch nur kurzzeitige) Unterbrechung des N-Leiters bei zugeschalteten Außenleiterkontakten möglich ist. Bei fehlerhaftem Anschluss passiert nun aber genau das Gegenteil. Im Bild ④ ist dieser Sachverhalt (wieder am Beispiel der beiden Server) dargestellt.

Um es eindeutig zu sagen: Der hier dargestellte Schaltzustand der Kontakte im Automaten oder RCD kann niemals auftreten – es sei denn, das Schaltorgan wurde falsch geschlossen.

Derselbe Fehler kann der Elektrofachkraft übrigens auch sehr leicht nach der Isolationsmessung in einer Anlage unterlaufen. Vor der Isolationsmessung musste sie ja (im freigeschalteten TN-C-S-System) die Brücke zwischen der PE- und der N-Schiene trennen. Nimmt sie die Anlage wieder in Betrieb ohne vorher diese Brücke wieder korrekt einzulegen (Bild ⑤), dann ergeben sich dieselben Effekte (und Zerstörungen) wie im davor beschriebenen Fall.

### Leitungszerstörung durch Oberschwingungen

In einem Drehstromsystem mit Verbrauchsgeschäften, die nicht sinusförmige Betriebsströme aus dem Netz ziehen, kann es zu massiver Überlastung (und auch Zerstörung) des N-Leiters durch (durch drei teilbare)

Oberschwingungen kommen – mit all den im letzten Abschnitt geschilderten Folgeerscheinungen und Gefahren.

Dem Bild ⑥ kann entnommen werden, dass sich die 50-Hz-Betriebsströme bei symmetrischer Belastung der Außenleiter eines Ds-Systems immer zu Null addieren. Der N-Leiter wird also nicht belastet. Bei den durch drei teilbaren Oberschwingungen (hier am Beispiel der 3. Oberschwingung mit 150 Hz dargestellt) fallen Wellenberge und Wellentäler aber zusammen – damit erfolgt eine Addition dieser Oberschwingungen aus den drei Außenleitern im N-Leiter.

Da der N-Leiter nun aber in unseren TN-C-S-Netzen leider in einen PEN-Leiter mündet, der bis zum heutigen Tage auch noch mit geringerem Querschnitt verlegt werden darf, als die Außenleiter (ein Kabel von z. B. 3 x 90/1 x 70 bekommt man im Fachhandel als Standardkabel zu kaufen), kann man auch PEN-Leiter-Unterbrechungen durch Überlastung nicht ausschließen.

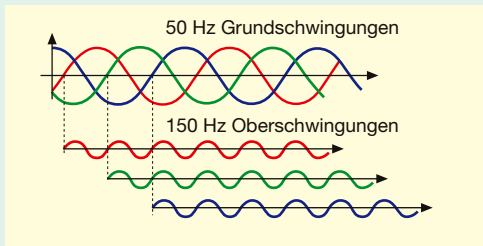
### Außenleiter-Unterbrechung

Das klingt gefährlicher als alle bisher genannten Fälle, ist aber in der Regel harmlos (jedenfalls dann, wenn man ignoriert, dass Papa bei völliger Dunkelheit im Keller gegen das Weinregal poltert, Opas Herzlungen-Maschine stehen bleibt und die Fahrt im Sessellift zu einem wirklich beeindruckenden Ferienerlebnis wird).

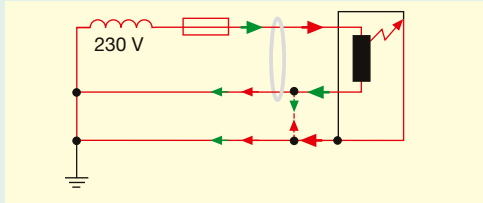
### Fehlverbindung zwischen PE- und N-Leiter

Wenn in Netzen der Fehler- oder auch Brandschutz mit RCDs sichergestellt wird, aber durch Schaltfehler (oder defekte Isolationen) leitfähige Verbindungen zwischen dem N- und dem PE-Leiter entstanden sind, dann besteht akute Lebensgefahr. Das leuchtet zunächst erst einmal

### ⑥ Belastung des Neutralleiters durch Oberschwingungen



### ⑧ TN-S-System mit Fehlverbindung zwischen PE und N – RCD spricht nicht korrekt an



nicht so recht ein. Auf beiden Leitungen sollte ja schließlich kein unterschiedliches Potential sein – also fließt doch auch kein Strom über diese Fehlverbindung. Diese weit verbreitete Meinung ist aber nicht nur schlichtweg falsch, sondern auch sehr gefährlich.

Wir betreiben in Gedanken ein Gerät der Schutzklasse I an einem Netz (als Beispiel sei hier das TN-S-System mit RCD gewählt):

#### Keine Fehlverbindung vorhanden.

Der Betriebsstrom (im Bild ⑦ grün dargestellt) fließt über L- und N-Leiter zweimal durch den Differenztrafo der RCD hinweg: Auf- und Abmagnetisierung heben sich in der RCD dabei selbst wieder auf. Es gibt daher keine Auslösung der RCD durch Betriebsströme – so soll das ja auch sein!

Der Fehlerstrom (im Bild rot dargestellt) fließt über L- und PE-Leiter (oder andere Verbindungen zur Erde). Es gibt also nur eine Auf- und keine Abmagnetisierung im Differenztrafo der RCD. Gefährliche Fehlerströme werden daher von der RCD abgeschaltet – so soll das ja auch sein!

**Fehlverbindung aufgetreten.** Der Betriebsstrom (grüne Pfeile), der ja eigentlich (nachdem er sein Arbeit im Gerät verrichtet hat) über den N-Leiter ins Netz zurückfließen soll, kann sich jetzt aufspalten (Bild ⑧). Ein Teil fließt über den N-Leiter und ein anderer Teil über den PE-Leiter ins speisende Netz zurück – und dieser (letztgenannte) Teil fehlt zur korrekten Abmagnetisierung des Differenzwandlers in der RCD.

**Fazit:** Ganz normale Betriebsströme führen zur Fehlauslösung der RCD. Darüber sollten wir uns nicht ärgern, sondern freuen – so wird eventuell ein Unfall verhindert, der sonst sehr leicht eintreten könnte.

Um das zu verstehen, stellen wir uns einen Defekt in der Isolation des Verbrauchsgärts vor. Es fließt dann ein Fehlerstrom vom L kommend (rote Pfeile) durch den Wandler und magnetisiert in auf – das soll ja auch so

sein! Nun darf der Fehlerstrom aber nicht wieder durch den Wandler zurückfließen. Tut er aber (zumindest teilweise)! Nachdem er über die Defektstelle geflossen ist, kann er über die Fehlverbindung zwischen PE- und N-Leiter in den N-Leiter fließen und trägt somit zu einer Abmagnetisierung des Wandlers bei (er hebt sich also selbst wieder in seiner elektromagnetischen Wirkung auf). **Fazit:** Fehlerströme werden nicht korrekt – evtl. sogar nicht mehr – zur Auslösung der RCD führen.

Das bedeutet Lebensgefahr! Bei der Isolationsmessung in Anlagen darf man folglich nie vergessen, auch das Isoliervermögen zwischen N- (nicht umsonst zählt er – wie die Außenleiter – zu den aktiven Leitungen) und PE-Leiter gewissenhaft nachzuweisen.

### Was tun, was unterlassen?

- Beim Prüfen sorgfältig alle Schutzleiter kontrollieren und dabei sinnvolle (eigene, der Prüfaufgabe angepasste) Grenzwerte festlegen.
- Niemals** bei spannungsführenden Anlagen den N- oder gar den PEN-Leiter unterbrechen!!
- Schaltgeräte sorgfältig anschließen (wo N dran steht, muss auch N drin sein!)
- Beim Nachweis des Isoliervermögens auch die intakte Isolation zwischen N und PE gewissenhaft nachweisen!
- Nach Isolationsmessungen – vor der Wiederinbetriebnahme – lieber 20- als nur 17-mal nachsehen, ob die PE-N-Verbindung auch wirklich wieder richtig angelegt worden ist.
- Maßnahmen gegen Oberschwingungen erarbeiten und problembezogen anwenden.
- Den PEN-Leiter meiden (und ausrotten) wo immer es geht! Eventuell die Netzform umstellen.
- Die geschilderten Zusammenhänge verstehen und den gesunden Menschenverstand einsetzen.

H. Tribius